

PCT/NL

03 0482

#2

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

Bureau voor de Industriële Eigendom



**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 08 AUG 2003  
WIPO PCT

Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 28 juni 2002 onder nummer 1020965,  
ten name van:

**NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST-  
NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO**

te Delft

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Biobrandstofcel",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 23 juli 2003

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,  
voor deze,

*J.W. Scheevelens*

Mw. J.W. Scheevelens-de Reus

1020965

B. v.d. I.E.

28 JUNI 2002

UITTREKSEL

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het op milieuvriendelijke wijze verwerken van organisch afval, alsmede op een daartoe geschikte inrichting.

Volgens de uitvinding wordt de afvalstroom verwerkt in een elektrochemische brandstofcel. Hiertoe wordt het afval in een ruimte gebracht waarin zich een elektrodepaar bevindt, welk elektrodepaar ten minste een positieve en ten minste een negatieve elektrode omvat, waarbij de positieve en negatieve elektrode door een wand gescheiden zijn, waarbij een oxidator wordt ingebracht in de ruimte rondom de negatieve elektrode, en waarbij een potentiaalverschil ontstaat over genoemd elektrodepaar, zodanig, dat aan de positieve elektrode  $\text{CO}_2$  wordt geproduceerd en dat elektriciteit wordt gewonnen.

De werkwijze volgens de uitvinding kan worden uitgevoerd met afvalstromen welke dierlijke mest, afvalwaterzuiveringsslib, groente-, fruit- en tuin- (GFT-) afval, en/of baggerspecie omvatten.

102  
P60318NL00

B. v.d. I.E.

28 JUNI 2002

Titel: Biobrandstofcel

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het op milieuvriendelijke wijze verwerken van organisch afval, alsmede op een daartoe geschikte inrichting.

Bij de verwerking van organisch afval, zoals mest, wordt doorgaans  
5 gebruik gemaakt van vergisting. Hierbij wordt organisch materiaal door micro-organismen afgebroken onder aërobe of anaërobe condities. Vergisting vindt doorgaans onder anaërobe condities plaats en geeft een productstroom die rijk is aan methaan. Het is bekend dat methaan een broeikasgas is, dat wil zeggen dat aanwezigheid ervan in de atmosfeer aanleiding kan geven tot  
10 het zgn. broeikaseffect. Het zgn. aardopwarmend vermogen (*global warming potential*, GWP) van methaan bedraagt 21, dat wil zeggen dat het aardopwarmend vermogen 21 keer hoger is dan dat van CO<sub>2</sub> (zie bijvoorbeeld: US Environmental Protection Agency, EPA-430-R-01-007, "Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions from Developed Countries: 1990-  
15 2010", december 2001). Om deze reden dient de uitstoot van methaan zoveel mogelijk beperkt te worden.

Een oplossing voor dit probleem kan zijn om het geproduceerde methaan te verbranden, maar dit gebeurt in de praktijk niet altijd, en is zeker niet altijd mogelijk, omdat dit speciale voorzieningen vergt om het  
20 geproduceerde methaan af te vangen alvorens dit in de atmosfeer komt.

Het afvangen en verbranden van het geproduceerde methaan zou economisch aantrekkelijker gemaakt kunnen worden door de geproduceerde warmte nuttig aan te wenden, bijvoorbeeld voor de opwekking van kracht, met name in de vorm van elektriciteit, maar het rendement hiervoor is  
25 principieel beperkt. Bovendien vergt dit aanzienlijke investeringen.

Derhalve is een doel van de onderhavige uitvinding om te voorzien in een werkwijze en inrichting voor het verwerken van afvalstromen die organisch materiaal omvatten, op zodanige wijze dat de uitstoot aan

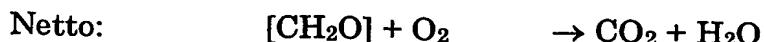
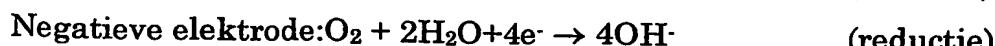
DT

methaan beperkt wordt en dat tevens nuttige energie in de vorm van elektriciteit gewonnen wordt.

Gevonden is, dat dit doel wordt bereikt door de afvalstroom te verwerken in een elektrochemische cel. Derhalve betreft de onderhavige uitvinding een werkwijze voor het verwerken van organisch afval, waarbij het afval in een ruimte wordt gebracht waarin zich een elektrodepaar bevindt, welk elektrodepaar ten minste een positieve en ten minste een negatieve elektrode omvat, waarbij de positieve en negatieve elektrode door een wand gescheiden zijn, waarbij een oxidator wordt ingebracht in de ruimte rondom de negatieve elektrode, en waarbij een potentiaalverschil ontstaat over genoemd elektrodepaar, zodanig, dat aan de positieve elektrode  $\text{CO}_2$  wordt geproduceerd en dat elektriciteit wordt gewonnen.

Volgens de uitvinding wordt gebruik gemaakt van het vermogen van bepaalde micro-organismen om elektrische energie af te staan aan elektroden en aldus elektriciteit op te wekken. Dit verschijnsel is op zich bekend en wordt bijvoorbeeld beschreven door Benetto (Biotechnology Education, 1(1990)163-168). Het achterliggende mechanisme is vooralsnog niet opgehelderd. Zonder aan theorie gebonden te willen zijn, wordt vermoed, dat er in de elektrochemische cel competitie ontstaat tussen micro-organismen welke in staat zijn om hun elektronen af te staan, al dan niet via een intermediaire verbinding, aan de elektrode ten koste van micro-organismen die hiertoe niet in staat zijn. De micro-organismen die de elektrode als electronenacceptor kunnen gebruiken nemen hierbij selectief in aantal en activiteit toe.

De reactie van het organisch afval (voorgesteld als koolwaterstofverbinding,  $[\text{CH}_2\text{O}]$ ) in een elektrochemische cel volgens de uitvinding, kan ruwweg als volgt worden beschreven, voor het geval zuurstof als oxidator wordt gebruikt:



5

Van belang is, dat volgens de uitvinding organisch afval wordt omgezet in  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ , waarbij elektriciteit wordt gewonnen. Op deze wijze wordt de productie van methaan tegengegaan en wordt de uitstoot van het broeikasgas methaan beperkt, hetgeen een belangrijk milieuvoordeel

10 oplevert.

Bovendien is het rendement waarmee volgens de uitvinding elektriciteit kan worden opgewekt (door organisch afval direct om te zetten in elektriciteit), aanmerkelijk hoger dan wanneer het organisch afval eerst in methaan wordt omgezet en vervolgens het gevormde methaan verbrand wordt voor de opwekking van elektriciteit.

De werkwijze volgens de uitvinding kan worden uitgevoerd met diverse soorten organisch afval. Bijzonder geschikt zijn afvalstromen welke dierlijke mest, afvalwaterzuiveringsslib, groente-, fruit- en tuin- (GFT-) afval, en/of baggerspecie omvatten, omdat deze afvalstromen met name 15 methaan produceren bij conventionele vergisting.

Volgens de uitvinding kan een aanzienlijk deel van de organische componenten in het afval worden omgezet in  $\text{CO}_2$  en water. Doelmatig is om ca 30-50% van het organische materiaal om te zetten. Het restproduct bevat een gunstige verhouding van minerale nutriënten (waaronder C, N, P en K) 20 en kan bijvoorbeeld worden toegepast voor de bemesting van landbouwgrond.

De cel waarin de werkwijze volgens de uitvinding wordt uitgevoerd, kan opgebouwd worden gedacht uit twee (of meer) compartimenten, welke worden gevormd door de scheidingswand in de cel.

- In het compartiment rondom de positieve elektrode worden in hoofdzaak anaërobe condities gehandhaafd. Dit kan worden bereikt door dit compartiment af te sluiten van de omgevingslucht en eventueel door doorleiden van een inert gas, zoals stikstof. In de praktijk echter is
- 5 gebleken, dat het in de meeste gevallen niet nodig is om speciale voorzieningen te treffen teneinde de anaërobe condities te handhaven. Wanneer bijvoorbeeld het oppervlak van het organisch afval in contact is met de omgevingslucht, zal zeer lokaal aan het oppervlak aërobe vergisting optreden, waarbij alle zuurstof uit de lucht snel verbruikt wordt. De zone
- 10 waarin aërobe vergisting optreedt met behulp van zuurstof uit de omgevingslucht, blijkt beperkt te zijn tot een zeer dunne laag, welke doorgaans slechts enkele mm dik is. Daaronder is alle zuurstof verbruikt en zijn de condities anaëroob. Zelfs wanneer de inhoud van een niet van de omgevingslucht afgesloten anaëroob compartiment geroerd wordt, teneinde
- 15 de stofoverdracht te verbeteren, blijkt de aanvoer van zuurstof uit de omgevingslucht in de meeste gevallen de vorming van anaërobe condities niet in de weg te staan, mits niet al te hard (bijvoorbeeld met een roersnelheid corresponderend met een tipsnelheid van de roerder van *ca.* 1 m/s of minder) geroerd wordt.
- 20 Het afval in het anaërobe compartiment is in de meeste praktische gevallen aanwezig in de vorm van een waterige suspensie of oplossing. Teneinde de ionengeleidbaarheid te verbeteren kunnen desgewenst zouten, bijvoorbeeld een buffer, worden toegevoegd.
- In het compartiment rondom de negatieve elektrode dient een
- 25 oxidator te worden ingebracht. Deze oxidator dient als uiteindelijke elektronen-“sink”. Zuurstof (bijvoorbeeld uit de lucht en/of opgelost in water) verdient vanuit praktisch oogpunt de voorkeur als oxidator. Daarnaast zijn andere oxidatoren mogelijk, zoals ijzer(III)cyanide. Aangezien de oxidator continu moet worden aangevoerd bij continue productie, is zuurstof uit de
- 30 lucht onder de meeste omstandigheden vanuit economische overwegingen

- het voordeligst. Ook in dit compartiment is in de meeste praktische gevallen water aanwezig. Het is echter ook mogelijk om zuurstof direct aan de lucht te onttrekken. In dit geval is echter een speciaal membraan nodig, een zogenaamd membrane-electrode assembly (MEA) waarbij bijvoorbeeld een
- 5 koolstof of grafietvilt is voorzien van een coating met bijvoorbeeld Nafion™ en een katalysator voor de katalytische omzetting van zuurstofgas in water. MEA's worden toegepast o.a in polymeerelektrolyt brandstofcellen waarin waterstofgas en zuurstofgas worden omgezet in water waarbij elektriciteit wordt opgewekt.
- 10 De scheidingswand, welke volgens de uitvinding wordt toegepast voor het opdelen van de cel in ten minste een anaëroob en ten minste een aëroob compartiment (de term "aëroob" hoeft in dit geval niet noodzakelijkerwijs naar de aanwezigheid van zuurstof als oxidator te verwijzen aangezien ook andere oxidatoren toegepast kunnen worden) kan
- 15 van ieder voor dit doel geschikt materiaal vervaardigd zijn. Dergelijke materialen zijn op zich bekend op het gebied van de elektrochemie. Doorgaans worden hiervoor ionselectieve (bijvoorbeeld kationwisselende) membranen toegepast. Voorbeelden hiervan zijn Nafion™. Dergelijke ionselectieve membranen zijn doorgaans prijzig (ca. EUR 500 - 800 per m<sup>2</sup>).
- 20 Bovendien zijn dergelijke ionselectieve membranen minder geschikt voor toepassing in de onderhavige uitvinding omdat deze de uitwisseling van componenten tussen de compartimenten verhinderen, zoals hieronder nader zal worden toegelicht. Verrassenderwijs is gevonden, dat het volstaat indien een poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve
- 25 scheidingswand wordt toegepast, zoals een vezelmat (woven of non-woven, bij voorkeur non-woven) waarbij de vezels van bijvoorbeeld glas of kunststof, zoals PVC zijn vervaardigd. Een dergelijke scheidingswand dient zodanig te zijn vormgegeven, dat elektronische kortsluiting in de cel tegen wordt geaan. In de praktijk betekent dit, dat de scheidingswand een dikte van bij
- 30 voorkeur 0,1 mm tot enkele cm heeft, bijvoorbeeld 0,2 mm tot 1 cm. De

maaswijdte kan enkele tientallen micrometers tot tienden van millimeters bedragen, bijvoorbeeld 30 tot 200  $\mu\text{m}$ . Aangezien ionselectieve membranen volgens de uitvinding niet nodig, en zelfs minder doelmatig zijn, betekent de vervanging door de genoemde poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve scheidingswanden (zoals glasvezelmatten) een aanzienlijke kostenbesparing.

Door de toepassing van poreuze scheidingswanden, is gebleken dat er transport van opgeloste verbindingen plaats kan vinden zoals  $\text{H}^+$  en  $\text{OH}^-$  ionen. Hierdoor wordt onder meer voorkomen, dat het anaërobe 10 compartiment verzuurt ten gevolge van de productie van  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}^+$ , respectievelijk het aërobe compartiment te basisch wordt (zie bovenstaande reactievergelijkingen):  $\text{H}^+$  en  $\text{OH}^-$  kunnen door de glasvezelmat heen diffunderen, waardoor de pH genivelleerd wordt.

Voor het vervaardigen van de elektroden komen de gebruikelijke 15 materialen in aanmerking. Bijzonder voordeel is het, indien de elektroden van het zgn. driedimensionale type zijn, bijvoorbeeld in de vorm van geschuimde structuren of vilt. Bij voorkeur worden een of meer van de elektroden uit koolstof vervaardigd, bij voorkeur grafiet. Vanuit praktisch oogpunt is het voordeel dat alle elektroden van hetzelfde type zijn. 20 Grafietvilt elektroden blijken in de praktijk zeer geschikt. Grafietvilt heeft weliswaar een hogere kostprijs, maar dit weegt in veel gevallen op tegen het verbeterde rendement dat erdoor kan worden verkregen. Desgewenst kan de elektrode in het aërobe compartiment worden voorzien van een katalysator, welke de overdracht van elektronen aan zuurstof versnelt. De katalysator 25 kan in de vorm een dispersie van fijne deeltjes worden aangebracht. Geschikte materialen voor dit doeleinde zijn edelmetalen, zoals platina.

Met bijzonder voordeel wordt de elektrochemische cel waarin de werkwijze volgens de uitvinding wordt uitgevoerd geschakeld aan een accu. Op deze wijze kan de geproduceerde elektriciteit (tijdelijk) worden

opgeslagen en worden piekbelastingen mogelijk die niet zonder meer mogelijk zijn met de hier voorgestelde biobrandstofcel.

De werkwijze volgens de uitvinding kan op omgevingstemperatuur worden uitgevoerd. Voordelig is het om de uitvinding uit te voeren bij 5 verhoogde temperatuur (bij voorkeur hoger dan 30 °C). Dit kan worden bereikt door de inrichting waarin de werkwijze wordt uitgevoerd te isoleren. Thermofiele culturen zullen dan de overhand krijgen. In het algemeen verlopen bij hogere temperaturen de (elektro- en bio-) chemische processen 10 sneller en wordt dus een hoger vermogen verkregen. In principe is het mogelijk om micro-organismen te selecteren die tot 100 °C actief zijn. Met bijzondere voorkeur wordt gewerkt in het gebied van 40-60 °C.

Verrassenderwijs is tevens gevonden, dat de toevoeging van ijzerionen aan het aërobe compartiment de elektronenoverdracht van de negatieve elektrode aan de oxidator aanzienlijk kan versnellen. Zonder aan 15 theorie gebonden te willen zijn, wordt vermoedt dat dit het gevolg is van de aanwezigheid van Fe(II) oxiderende micro-organismen, zoals *Thiobacillus*, *Gallionella* en *Leptothrix*. Deze micro-organismen zijn in staat om Fe<sup>2+</sup> tot Fe<sup>3+</sup> te oxideren. Fe<sup>3+</sup> in oplossing wordt vervolgens aan de kathode gereduceerd tot Fe<sup>2+</sup>. Deze reactie verloopt veel sneller dan de reductie van 20 zuurstof aan water aangezien de reductie van zuurstof kinetisch belemmerd is. Dergelijke micro-organismen hebben verder CO<sub>2</sub> en minerale nutriënten (N, P, S etc) nodig om te kunnen groeien. Indien de scheidingswand is uitgevoerd in de vorm van een glasvezelmat of een andere poreuze 25 scheidingswand, zoals hierboven beschreven, is echter gebleken dat CO<sub>2</sub> in voldoende mate in het anaërobe compartiment gevormd wordt en vervolgens in voldoende mate door de scheidingswand heen diffundeert, teneinde in deze CO<sub>2</sub>-behoefte te voorzien. IJzerionen kunnen bijvoorbeeld in het aërobe compartiment worden aangebracht door toevoeging van roest.

Volgens een andere voorkeur uitvoeringsvorm, wordt het effluent 30 van het anaërobe compartiment naar het aërobe compartiment gevoerd.

Hierbij wordt het afval eerst onder anaërobe condities gedeeltelijk afgebroken, waarbij een effluent omvattende organische afbraakproducten wordt gevormd. Daarna wordt het effluent naar de ruimte rondom de negatieve elektrode gevoerd, waar het onder aërobe condities verder wordt 5 afgebroken. Op deze wijze wordt een zeer efficiënte afbraak van de afvalstroom verkregen. Weliswaar gaat dit ten koste van de elektriciteitsopbrengst (in het aërobe compartiment wordt een gedeelte van de oxidator verbruikt voor aërobe vergisting en is dus niet meer beschikbaar voor als elektronensink) maar dit weegt onder bepaalde omstandigheden op 10 tegen het voordeel van een verder afgebroken restproduct. Deze uitvoeringsvorm kan ook zeer geschikt in reeds bestaande installaties voor anaërobe/aërobe zuivering worden uitgevoerd (bijvoorbeeld in een UASB-reactor, Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor), waarbij slechts minimale aanpassingen aan de bestaande apparatuur noodzakelijk zijn.

15 Een inrichting volgens de onderhavige uitvinding omvat een cel welke door een glasvezelmat (of een ander type poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve scheidingswand) is gescheiden in ten minste twee compartimenten, waarbij ten minste twee van de compartimenten elk zijn voorzien van ten minste een elektrode, welke elektroden zodanig zijn 20 opgesteld, dat deze een elektrische kringloop kunnen vormen, verder voorzien van middelen voor het afvoeren dan wel opslaan van elektriciteit en desgewenst voorzien van toevoermiddelen voor een oxidant. Een dergelijke inrichting is zeer geschikt voor het uitvoeren van de werkwijze volgens de uitvinding.

25 De inrichting volgens de uitvinding omvat verder bij voorkeur toevoermiddelen voor een oxidant, bij voorkeur in de vorm van een luchtpomp. Hiermee kan een oxidant, bij voorkeur lucht, in het aërobe gedeelte gepompt worden.

De uitvinding kan tevens worden uitgevoerd in de vorm van een 30 kit. Deze omvat een elektrodepaar omvattende ten minste twee

driedimensionale elektroden, bij voorkeur grafietvilt elektroden, en een poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve scheidingswand, bij voorkeur een glasvezelmat. Met deze kit kunnen in een bestaande opslagruimte, bijvoorbeeld een gierput of tank, op eenvoudige wijze de 5 voordelen van de uitvinding worden behaald. De scheidingswand dient zodanig in de ruimte te worden aangebracht, dat deze gecompartimenteerd wordt. Vervolgens wordt in elk van de compartimenten ten minste een elektrode geplaatst. Door in een van de compartimenten de oxidator te brengen, bijvoorbeeld door te beluchten met behulp van conventionele 10 technieken, zoals met behulp van een luchtpomp, zal de hierboven beschreven biologische activiteit zich ontwikkelen en kan elektriciteit worden gewonnen.

Figuur 1 toont een biobrandstofcel volgens de uitvinding met anaërobe en aërobe celhelft waarbij elektroden (+ en -) uit grafietvilt bestaan en de separator (midden) uit glasvezelmat (of een ander type 15 poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve scheidingswand) bestaat. Transport van lading vindt plaats middels transport van  $H^+$  van + naar - pool en  $OH^-$  van - naar + pool door de scheidingswand, welke dient als separator. In deze figuur bevindt de positieve elektrode zich in de 20 anaërobe cel en de negatieve elektrode in de aërobe cel. Voor de redox-potentiaal van de vloeistof geldt het omgekeerde: in de anaërobe cel is deze negatief; in de aërobe cel positief.

Een belangrijk voordeel van de uitvinding is gelegen in het kostenvoordeel dat kan worden verkregen door de toepassing van de 25 poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve scheidingswand in plaats van dure ionselectieve membranen. Een bijkomend voordeel van de toepassing van poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve scheidingswand is, dat dit het mogelijk maakt, dat door de toevoeging van ijzerionen de kinetisch relatief langzame reductie van zuurstof versneld kan

worden. Dit zou niet mogelijk zijn met conventionele ionselectieve membranen.

De uitvinding zal nu worden toegelicht aan de hand van een voorbeeld.

5

### VOORBEELD

Figuur 1 toont een proefopstelling. Een laboratoriumschaal biobrandstofcel werd geconstrueerd uit een anaërobe cel met  $\pm$  100 gram gemengde varkens-, koeien-, paarden- en pluimveemest. Een geringe

10  $N_2$  gasstroom zorgde voor een lichte menging van de mest en verhinderde het intreden zuurstof in de anaërobe cel. Dit bleek echter niet essentieel. In de anaërobe cel was een non-woven grafietvilt elektrode geplaatst (oppervlakte  $78 \text{ cm}^2$ , dikte 2 mm). Deze elektrode werd tegen een glasvezelmat aangedrukt, die fungeerde als elektrische scheiding tussen de 15 anaërobe en de aërobe cel. Aan de andere kant van de glasvezelmat bevond zich een identieke grafietvilt elektrode in water. Aan deze elektrode vond de reductie van zuurstof plaats.

Nadat de elektroden middels krokodillenbekjes en elektrische bedrading waren aangesloten op een multimeter, bouwde zich binnen 2 uur 20 een spanning van 0,34 V op. In een periode van 5 dagen liep deze spanning op tot 0,45 V.

De biobrandstofcel werd vervolgens belast door de anode en kathode te verbinden met een weerstand van 500 Ohm. Bij een spanning van 0,3 V werd een stroom van 0,2-0,3 mA waargenomen gedurende de 25 proefperiode van een week. Het geleverde vermogen bedroeg hierbij ongeveer  $12 \text{ W/m}^2$  elektrodeoppervlak (in een niet geoptimaliseerde cel).

Bij een belasting met 1000 Ohm werd een celspanning van 0,5 V gemeten bij een stroom van 0,4 mA. Deze belasting is gedurende 3 maanden opgelegd aan het systeem. Indien uit wordt gegaan van een geschatte droge 30 stofpercentage van 10% en ervan uitgaande dat de organische stof die is

omgezet aanwezig was in het grafietvilt met een oppervlakte van  $78 \text{ cm}^2$  en dikte van 0,2 cm en een porositeit van 95%, dan is de hoeveelheid droge stof, uitgaande van een dichtheid van  $1 \text{ g/cm}^3$ , gelijk aan 1,56 g. De hoeveelheid energie die is opgewekt is gelijk aan  $0,5 \text{ V} \times 0,4 \times 10^{-3} \text{ A} \times 90 \times 24 \text{ h}$  oftewel 5 gelijk aan 0,432 Wh. Uitgaande van de hoeveelheid droge stof van 1,56 g is de specifieke energie gelijk aan 277 Wh/kg. Aangezien de theoretische specifieke energie in de orde van 1000 Wh/kg of hoger ligt voor de omzetting van de organische stof naar CO<sub>2</sub>, kan worden gesteld dat de omzetting met een rendement is verlopen van circa 30%. Uiteraard is dit rendement 10 afhankelijk van de geometrie van de cel en de uitvoeringsvorm. Indien we de condities van de cel opschalen, dan zijn voor een biobrandstofcel van 225 V totaal 450 cellen in serie nodig. Uitgaande van een opgeschaald elektrodeoppervlak van  $100 \text{ m}^2$ , is de stroom gelijk aan  $(100 \text{ m}^2 / 78 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times 0,4 \text{ mA} = 5,1 \text{ A}$ . Het totale vermogen is daarmee gelijk aan  $225 \text{ V} \times 15 5,1 \text{ A} = 1148 \text{ W}$ . Per dag wordt daarmee geleverd 27,5 kWh.

## CONCLUSIES

1. Werkwijze voor de omzetting van organisch afval, waarbij het afval in een cel wordt gebracht waarin zich een elektrodepaar bevindt, welk elektrodepaar ten minste een positieve en ten minste een negatieve elektrode omvat, waarbij de positieve en negatieve elektrode door een wand gescheiden zijn, waarbij een oxidator wordt ingebracht in het gedeelte van de cel rondom de negatieve elektrode, en waarbij een potentiaalverschil ontstaat over genoemd elektrodepaar, zodanig, dat aan de positieve elektrode CO<sub>2</sub> wordt geproduceerd en dat elektriciteit wordt gewonnen.  
5
2. Werkwijze volgens conclusie 1, waarbij het organisch afval dierlijke mest, afvalwaterzuiveringsslib, groente-, fruit- en tuin- (GFT-) afval, en/of baggerspecie omvat.  
10
3. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij genoemde oxidator zuurstof is.
4. Werkwijze volgens conclusie 3, waarbij de zuurstof in de vorm van lucht en/of opgelost in water wordt ingebracht.  
15
5. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij genoemde wand een poreuze, elektronisch niet-geleidende, niet-ionselectieve scheidingswand is, welke bij voorkeur non-woven kunststof vezels of glasvezels omvat.
6. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij een of meer elektroden driedimensionale elektroden, bij voorkeur viltelektroden, zijn.  
20
7. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij een of meer elektroden koolstof, bij voorkeur grafiet, omvatten.
8. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij een of meer elektroden voorzien zijn van een katalysator, bij voorkeur een edelmetaalkatalysator.  
25

9. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij de gewonnen elektriciteit althans gedeeltelijk wordt opgeslagen in een accu.
10. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, welke wordt uitgevoerd bij een temperatuur van 30-100 °C, bij voorkeur van 40-60 °C.
- 5 11. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij Fe-ionen worden ingebracht in de ruimte rond de negatieve elektrode.
12. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij het afval in de ruimte rondom de positieve elektrode wordt aangevoerd waar het onder anaërobe condities gedeeltelijk wordt afgebroken, waarbij een effluent
- 10 omvattende organische afbraakproducten wordt gevormd, welk effluent vervolgens naar de ruimte rondom de negatieve elektrode wordt gevoerd, waar het onder aërobe condities verder wordt afgebroken.
13. Inrichting voor het verwerken van organisch afval, omvattende een cel welke door een glasvezelmat is gescheiden in ten minste twee
- 15 compartimenten, waarbij ten minste twee van de compartimenten elk zijn voorzien van ten minste een elektrode, welke elektroden zodanig zijn opgesteld, dat deze een elektrische kringloop kunnen vormen, verder voorzien van middelen voor het afvoeren dan wel opslaan van elektriciteit en desgewenst voorzien van toevoermiddelen voor een oxidant.
- 20 14. Inrichting volgens conclusie 13, waarin toevoermiddelen voor een oxidant aanwezig zijn, bij voorkeur in de vorm van een luchtpomp.
15. Inrichting volgens conclusie 13 of 14, waarbij ten minste een elektrode een driedimensionale elektrode, bij voorkeur een viltelektrode, is.
16. Inrichting volgens een der conclusies 13-15, waarbij ten minste een
- 25 elektrode koolstof, bij voorkeur grafiet, omvat.
17. Kit voor het verwerken van organisch afval, omvattende een elektrodepaar omvattende ten minste twee driedimensionale elektroden, bij voorkeur grafietviltelektroden, en een glasvezelmat.

Fig.1

